



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
" КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО "**

А.Р. Степанюк

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ**

**«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ – 1.
БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ ТЕПЛОМАСООБМІНУ»**

“ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ”

для студентів напрямку 6.050503 Машинобудування

КИЇВ 2017

Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з кредитного модуля «Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії тепломасообміну» “Визначення характеристик відцентрового насосу” для студентів напряму 6.050503 «Машинобудування» [Електронний ресурс] / А. Р. Степанюк; Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 16 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 2 від 27 березня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор Дахненко Валерій Леонідович, доцент, к.т.н.

Рецензент:

Сокольський Олександр Леонідович, доцент, к.т.н.

Навчальне видання

Степанюк Андрій Романович, к.т.н., доц. кафедри МАХНВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

«Процеси та обладнання хімічних технологій – 1.
Базові принципи теорії тепломасообміну»

“ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА”

для студентів спеціальності 6.050503 Машинобудування

спеціалізація 05050315 Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ВСТУП

У всіх технологічних процесах для забезпечення протікання процесів необхідно забезпечувати певні витрати компонентів (газів, рідин, парів, тощо) [1]. Одним з пристроїв, що забезпечує переміщення середовищ є відцентровий насос.

Величина гідродинамічних опорів та втрат напору контактних пристроїв апаратів впливають на енергетичні витрати для проведення процесів.

Оскільки основні розміри апарата і оптимальний режим його експлуатації визначаються з гідравлічних залежностей, необхідно правильно підбирати насосні установки для забезпечення відповідних технологічних параметрів в апаратах.

МЕТА РОБОТИ: практичне ознайомлення з насосною установкою, визначення за експериментальними даними залежностей $V - H$, $V - N$, $V - \eta$, $V - H_c$, та параметрів робочої точки.

ЗАВДАННЯ:

1. Отримати експериментальні характеристики відцентрового насоса ($V - N$, $V - \eta$, $V - H$), проводячи першу серію дослідів при постійному числі обертів насоса n , але при різних витратах води;
2. Визначити характеристики мережі ($V - H_c$), проводячи другу серію дослідів при постійному відкритті засувки, але при різних числах обертів насоса;
3. Побудувати **дві** характеристики мережі ($V - H_c$) і графік роботи насоса $V - H$, $V - N$, $V - \eta$;
4. Визначити параметри робочих точок і параметри економічної роботи насосної установки.

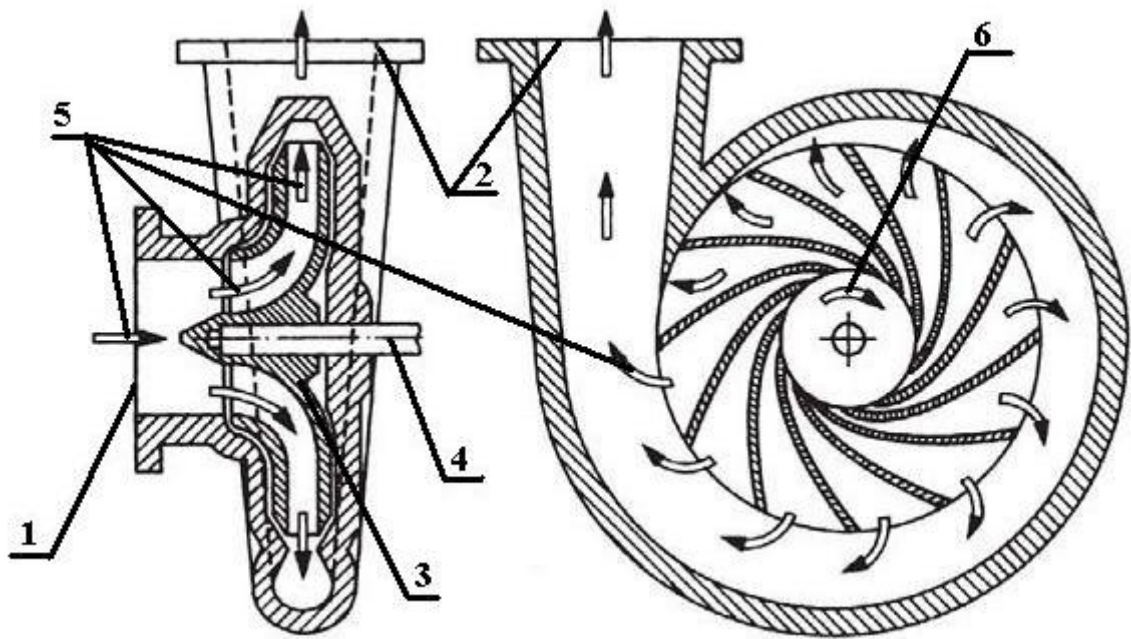
Лабораторна робота проводиться на стенді, розробленому авторами методичних вказівок [2].

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Теоретичні відомості викладено за авторами [3...5]. У всіх галузях народного господарства, в тому числі хімічних, нафтохімічних і біотехнологічних виробництвах, для транспортування крапельних рідин трубопроводами використовують гідравлічні машини, які забезпечують потоку необхідну швидкість для подолання опорів на шляху її руху [1]. Такі гідравлічні машини отримали назву насосів. За принципом дії, незалежно від властивостей переміщуваної рідини насоси діляться на: лопатеві, об'ємні і струменеві. До групи лопатевих насосів належить і відцентровий насос. Одноступінчастий відцентровий насос має равликopodobний канал, всередині якого знаходиться робоче колесо 3, рисунок 1. Робоче колесо 3 відцентрового насоса встановлено на валу 4 та складається з одного чи двох дисків, з'єднаних вигнутими лопатками. Рідина подається по всмоктуючому патрубку 1 та відводиться по нагнітаючому патрубку 2. Рідина, що знаходиться між ними, приводиться в обертання разом з робочим колесом. При цьому кожна частинка рідини переміщується по складній траєкторії. По-перше, відцентрова сила, що відкидає рідину, змушуючи її рухатися радіально, уздовж лопаток від осі колеса до периферії. По-друге, рідина, що захоплюється лопатками колеса, яке обертається, окрім радіальної швидкості, набуває ще й колової швидкості, однакової зі швидкістю колеса. Враховуючи, що колова швидкість на периферії колеса більша, ніж біля входу в лопатки, то абсолютна (рівнодіюча) швидкість рідини на виході з колеса більша, ніж на вході. Таким чином, рідина, що проходить через робоче колесо відцентрового насоса, набуває додаткової кількості енергії.

Рідина, що викидається з периферії робочого колеса, надходить в равликopodobний направляючий канал, який кільцем охоплює робоче колесо. Поперечний переріз равликopodobного направляючого каналу збільшується в напрямку до вихідного патрубка апарату, що призводить до плавного зниження швидкості рідини від максимальної, отриманої рідиною на виході з лопаток

робочого колеса, до нормальної швидкості в трубопроводі. При цьому частина кінетичної енергії рідини перетворюється в потенційну енергію тиску, що супроводжується збільшенням напору (тиску) рідини.



1 – всмоктуючий патрубок; 2 – нагнітаючий патрубок; 3 – робоче колесо;
4 – вал; 5 – напрям руху робочої рідини в камері насоса; 6 – напрям руху валу

Рисунок 1 – Схема відцентрового насоса:

Для правильної експлуатації відцентрових насосів і їх підбору необхідно знати, як змінюються основні параметри насосів при різних умовах їх роботи. Величини, що характеризують роботу відцентрового насоса при даному числі обертів, зазвичай зображають у вигляді графічних залежностей напору H , потужності N і ККД η від продуктивності V . Приклад енергетичних характеристик відцентрового насоса зображено на рисунку 2.

Залежності $V-H$, $V-N$ та $V-\eta$ називаються енергетичними характеристиками насоса. Основою вважають характеристику $V-H$, тому, що витрати потужності N і ККД η є наслідком роботи по створенню подачі V і напору H , які, відповідно, і є метою застосування насоса.

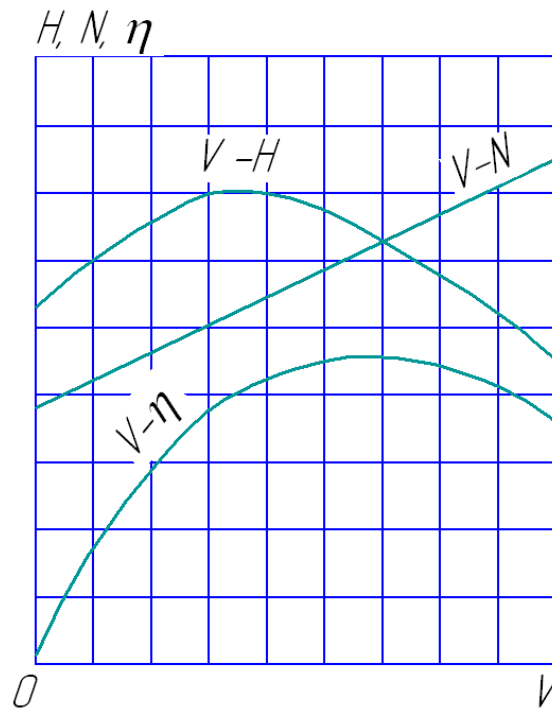


Рисунок 2 – Енергетичні характеристики відцентрового насоса

При зміні в невеликих межах числа обертів відцентрового насоса (приблизно в 1,5...2 рази) його подача V , напір H і потужність, що споживається N змінюються по залежностях, які називаються законами пропорційності:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{H_1}{H_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (1)$$

Як випливає з рисунку 2, зі збільшенням подачі V потужність N , що споживається насосом, безперервно зростає. При закритому вентилі на нагнітальному трубопроводі ($V = 0$) насос споживає мінімальну кількість енергії, тобто має мінімальну потужність (лише на подолання тертя в підшипниках і сальникових ущільненнях, та на переміщення рідини робочим колесом в корпусі насоса). Тому, щоб не перевантажувати електродвигун, необхідно пускати відцентровий насос при закритій засувці. Вибір насоса та встановлення числа його обертів залежать від умов роботи насоса на мережу, що складається з трубопроводів та апаратів, що в ній встановлено. Ці умови визначаються так званою характеристикою мережі ($V - H_c$), тобто залежністю між витратами V і

напором мережі H_c , необхідним для подолання всіх опорів даного трубопроводу. У разі нестискуваної рідини:

$$H_c = \left(1 + \lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \zeta\right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} + H_{ni\partial} + H_{\partial\partial\partial} \quad (2)$$

Підставляючи до цього виразу значення швидкості рідини з рівняння витрат:

$$w = \frac{V}{S}, \quad (3)$$

Отримаємо:

$$H_c = \frac{\left(1 + \lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \zeta\right)}{2 \cdot g \cdot S^2} \cdot V^2 + H_{ni\partial} + H_{\partial\partial\partial} = k \cdot V^2 + b \quad (4)$$

$$\text{де } k = \frac{\left(1 + \lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \zeta\right)}{2 \cdot g \cdot S^2} - \text{величина, що має наближене до постійного значення}$$

для даного трубопроводу (мережі).

Отриманий вираз (4)

$$H_c = k \cdot V^2 + b \quad (5)$$

в координатах $(H_c - V)$ має форму параболи (рисунок 3), вершина якої розташована на осі ординат, на висоті $b = H_{ni\partial} + H_{\partial\partial\partial}$ від початку координат ($H_{ni\partial}$ – геометрична висота підйому рідини; $H_{\partial\partial\partial}$ – різниця напорів між просторами нагнітання і всмоктування).

Характеристика насоса і характеристики мережі наведено в одній системі координат, рисунок 4.

Перетин характеристик насоса $V-H$ і мережі $V-h_c$ визначає так звану «робочу точку». Ця точка показує умови спільної роботи системи «насос – трубопровід (мережа)», тобто $H = H_c$. У цій точці всі гідравлічні опори трубопроводу долаються напором, що створюється насосом. Вертикальна пряма, проведена через робочу точку, перетинає характеристики насоса $V-N$, $V-\eta$ і вісь абсцис в точках, що визначають показники роботи насоса за даних умов. Наприклад, для робочої точки А (рисунок 4) параметри роботи насоса наступні:

витрати V_A , напір H_A , потужність, що споживається N_A , ККД – η_A . Положення робочої точки дозволяє зробити висновок про ступінь використання можливостей насоса в даних умовах. Якщо, наприклад, взяти за робочу точку В, то, насос працюватиме на іншу мережу з іншими характеристиками.

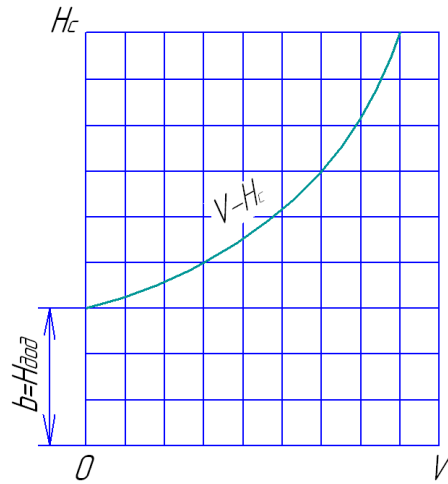


Рисунок 3 – Характеристика трубопроводу (мережі)

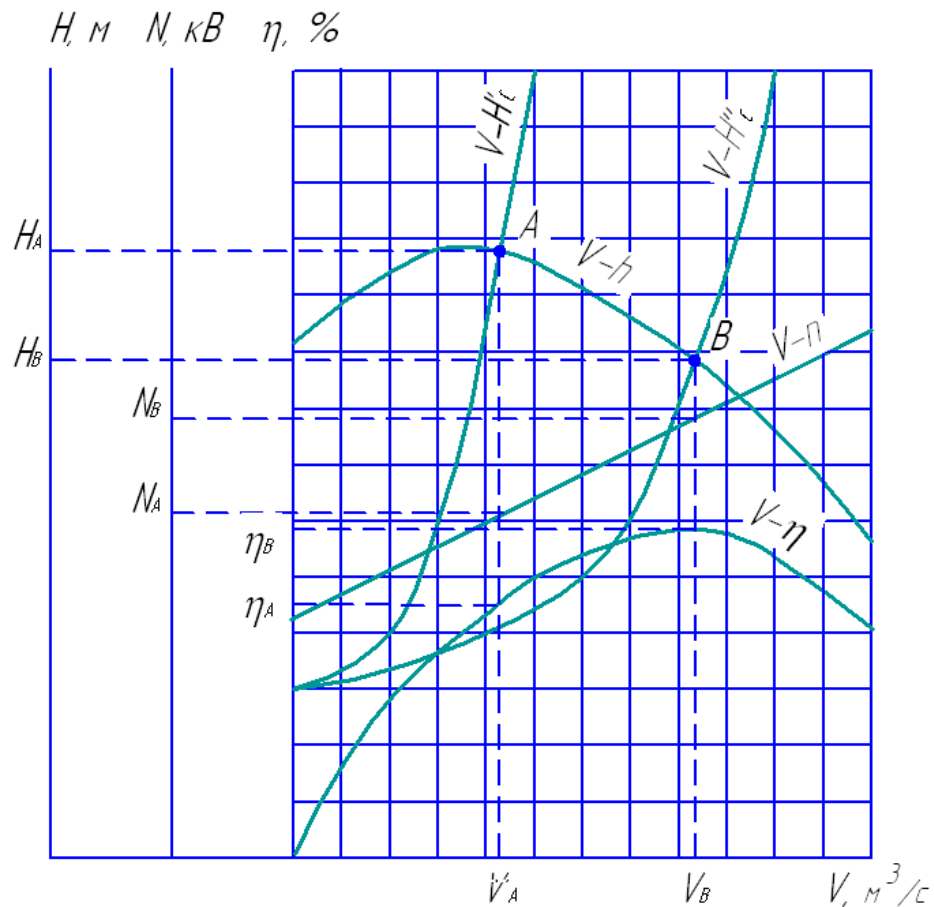
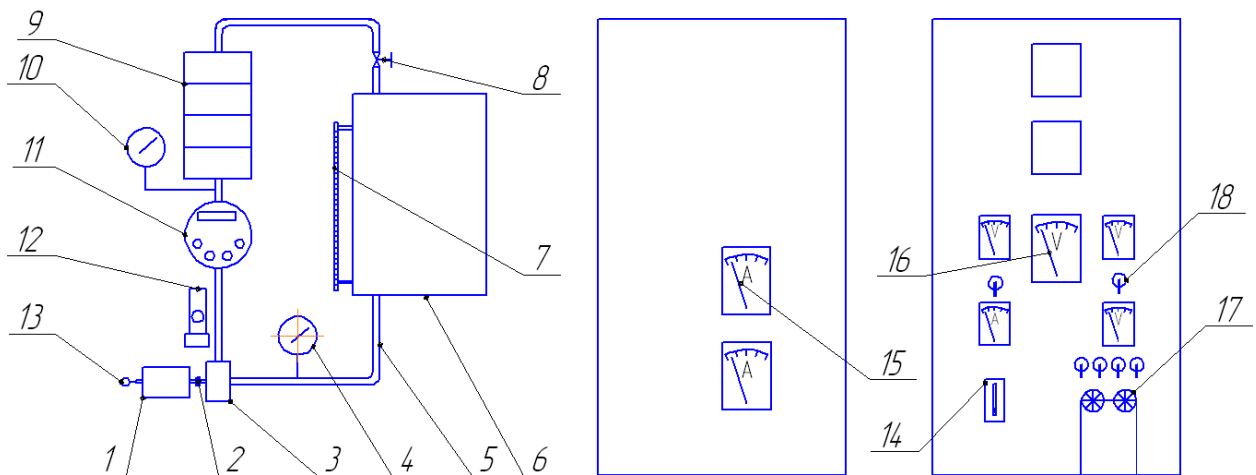


Рисунок 4 – Характеристики насоса і мережі,
зображені в одній системі координат

2 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

На рисунку 5 зображено схема експериментальної насосної установки. Відцентровий насос 3 через муфту 2 з'єднано з електродвигуном змінного струму 1. Число обертів вимірюється за допомогою строботакметра 12 або тактометра часового типу 13.



1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – відцентровий насос; 4 – вакуумметр;
5 – магістраль подачі води; 5 – видатковий бак; 7 – водомірна трубка;
8 – вентиль; 9 – теплообмінник (“гідравлічний опір”); 10 – манометр;
11 – лічильник витрат води; 12 – строботактометр; 13 – тактометр; 14 – тумблер
пуску (зупинки) електродвигуна; 15 – амперметр; 16 – вольтметр; 17 – регулятор
числа обертів двигуна; 18 – перемикач увімкнення вольтметра

Рисунок 5 – Схема насосної установки:

Вода засмоктується насосом 3 з витратного бака 6 через всмоктувальний трубопровід 5, на якому встановлено вакуумметр 4. Після відцентрового насосу 3 встановлено лічильник витрат води 11, манометр 10, теплообмінник (“гідравлічний опір”) 9 та вентиль 8 для регулювання витрати води. Вода з нагнітального трубопроводу повертається до видаткового баку, звідки знову засмоктується насосом. Рівень води в баку контролюється за допомогою водомірної трубки 7.

На панелі щита управління змонтовано тумблер пуску (зупинки) електродвигуна насоса 14, амперметр 15,а вольтметр 16 для вимірювання потужності електродвигуна та регулятор числа обертів двигуна 17, для вмикання вольтметра 16 встановлено перемикач 18.

3 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Перед вмиканням необхідно:

1. Провести огляд стенду з метою виявлення видимих пошкоджень обладнання.
2. Перевірити наявність заземлення.
3. Перевірити рівень води у видатковому баці, за необхідності долити воду з магістралі водного живлення установки.
4. Перевірити положення всіх вентилів та перемикачів і встановити їх у положення, що відповідає початку роботи на установці.
5. Роботу проводити тільки за інструкцією.
6. При виконанні роботи бути уважними: забороняється доторкатися до елементів конструкції, що обертаються та класти на них будь-які предмети.
7. В разі будь-яких неполадок в роботі, студентам забороняється намагатися усувати їх самостійно.

Після закінчення роботи:

1. Зупинити роботу двигуна регулятором обертів двигуна.
2. Вимкнути тумблер пуску (зупинки) електродвигуна насоса.
3. При необхідності закрити необхідні вентиля.

4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Випробування насосної установки проводять в два етапи. В першу чергу визначають величини, необхідні для побудови характеристик насоса:

$V-H$, $V-N$, $V-\eta$; в другу – величини, необхідні для побудови характеристики мережі $V-h_c$.

На першому етапі випробування проводять при постійному числі обертів насоса (число обертів задається викладачем), але при різних витратах води (подачах насоса). Зміна подачі виконується поступовим відкриттям вентиля 9 на нагнітальному трубопроводі. Перший замір проводять при повністю закритому вентилі, наступні – при його поступовому відкритті. Останній дослід на цьому етапі проводять при повністю відкритому вентилі. Число обертів насоса знімають з табло стробоскопічного тахометра 12 або тахометра 13 (залежно від комплектації установки) рисунок 5.

Зміни витрат у нагнітальному трубопроводі необхідно регулювати шляхом зміни положення вентиля 8 та контролювати за допомогою лічильника витрат води 11. Задані числа обертів двигуна контролюються строботаксометром 12 або тахометром 2 при. При кожній зміні положення вентиля 8 в бік відкриття число обертів насоса буде зменшуватися, тому після повороту вентиля необхідно за допомогою регулятор числа обертів двигуна 17 відновити задане число оборотів двигуна насосу, а потім зробити наступні виміри: витрат води, що перекачує насос – лічильником витрат води 11, розрідження у всмоктувальній трубі вакуумметром 4, тиску в нагнітальній трубі манометром 10, сили струму амперметром 15 та напруги вольтметром 16. Результати необхідно занести до таблиці 1.

На другому етапі роботи заміри проводяться **дві** серії експериментів при постійних (заданих) витратах (відкритті вентиля), але при різних числах обертів насоса (не менше 5...6).

Для кожного числа обертів виконуються заміри подачі насоса, розрідження у всмоктувальній трубі і тиску в нагнітальній трубі. Потім змінюються положення вентиля (за завданням викладача) і проводиться друга серія замірів при тих же 5...6 числах обертів насоса, що і в першій серії.

Раніше відмічалось, що вершина параболи (характеристики $V-H$) розташовується по осі ординат на відстані b від початку координат:
 $b = H_{ni\partial} + H_{\partial o\partial}$.

Враховуючи, що як в даній установці додаткового напору $H_{\partial o\partial}$ – немає, то
 $b = H_{ni\partial}$.

За результатами, отриманими на другому етапі роботи, будуються дві характеристики $V-h_c$, та спільно з характеристиками насоса, що отримані на першому етапі ($V-H$, $V-N$, $V-\eta$) розміщуються в одній системі координат, за прикладом, наведеним на рисунку 4. На перетині кривих $V-h_c$ і $V-H$ отримаємо робочі точки А і В, за якими визначаються параметри роботи насосної установки. Повний напір насоса H , який виражається в метрах стовпа рідини, що подається, визначається наступним чином:

$$H = P_M + P_B + h + \frac{w_{наг}^2 - w_{вс}^2}{2} \quad (4.6)$$

де P_M і P_B – результати заміру показників манометра і вакуумметра, м вод. ст; h – відстань між місцями приєднання манометра і вакуумметра, м; $w_{наг}$ і $w_{вс}$ – швидкість в нагнітальному та у всмоктуючому трубопроводах відповідно, м / с.

Виходячи з того, що в установці всмоктуючий і нагнітальний трубопроводи мають однаковий діаметр, то $w_{наг} = w_{вс}$.

Таким чином:

$$H = P_M + P_B + h \quad (4.7)$$

5 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Потужність, що споживається двигуном, Вт, визначається виразом:

$$N_{\partial} = U \cdot I \quad (4.8)$$

де U – напруга, В; I – сила струму, А.

Корисна потужність, що передає насос рідині, кВт:

$$N_{кор} = 0,01 \cdot V \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (4.9)$$

де V – продуктивність (подача) насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина рідини, що перекачується, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; H – повний напір, що створюється насосом, м вод. ст.

Коефіцієнт корисної дії насосної установки η визначається за виразом:

$$\eta = \frac{N_{кор}}{N_{\delta}}$$

Всі величини, виміряні в процесі експериментів і отримані після розрахунків записуються до таблиць 1 та 2. Після чого будується графік, за зразком графіка, наведеного на рисунку 4, і визначаються параметри робочих точок А і В.

Проводиться аналіз отриманих результатів та записуються висновки за результатами досліджень.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Проаналізуйте класифікацію насосів.
2. Опишіть конструкцію відцентрового насосу.
3. Опишіть принцип дії відцентрового насосу.
4. Яке призначення має спіральний равликopodobний канал?
5. Які залежності називаються енергетичними характеристиками насоса?
6. Що таке характеристика трубопроводу (мережі)?
4. Що таке закони пропорційності?
5. З яких складових складається напір H_c , що втрачається в мережі?
7. З яких складових складається повний напір насоса?
8. Що таке корисна потужність, що передає насос рідині?
9. Що таке коефіцієнт корисної дії насосної установки?
6. Який фізичний зміст має робоча точка?
7. Який фізичний зміст має характеристика мережі?

Таблиця 1 – Характеристика насоса при постійному числі обертів

№ з/п	Число обертів n , об/сек	Продукт ивність V , м ³ /с	Відстань між місцями приєднан ня маномет- ра і вакуум- метра, h , м	Тиск		Розрідження		Повний напір, H , м вод. ст.	Сила струму I , А	Напруга U , В	Потужність N , Вт	ККД , η_A , %
				P_M , ат	P_M , м вод. ст.	P_B , ат	P_B , м вод. ст.					
І етап (при постійному числі обертів) n = об / хв												
1												
2												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Таблиця 2 – Характеристики мережі при постійних витратах

№ серії з/п	№ з/п дослід	Число обертів n , об/сек	Продуктивність насоса V , м ³ /с	Відстань між місцями приєднання манометра і вакуумметра, h , м	Тиск		Розрідження		Повний напір, H , м. вод. ст.
					P_M , ат	P_M , м вод. ст.	P_B , ат	P_B , м вод. ст.	
II етап (при постійному відкритті засувки і різних числах обертів)									
1	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
2	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ:

- густина, кг/м^3 : $\rho_g = 1000 - 0,062 \cdot t - 0,00355 \cdot t^2$;
- теплопровідність, $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$: $\lambda_g = 0,5544 + 0,0246 \cdot t - 0,00001184 \cdot t^2$
- коефіцієнт динамічної в'язкості, $\text{Па} \cdot \text{с}$: $\mu_g = 0,59849(43,252 + t)^{-1,5423}$

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сидоренко С.В., Казачинська Н.В. Дослідження графітового теплообмінника. Методичні вказівки / Уклад. Сидоренко С.В., Казачинська Н.В.. – К.: НТУУ «КПІ», 1978.–26с.
2. Процеси первинної газо- нафтопереробки. Процеси первинної газо-нафтопереробки [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. Р. Степанюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 291 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 126 с. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ci.kpi.ua/metodopen> 126 с.
3. Касаткина А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973.-752с.
4. Гидравлика и теплотехника [Электронный ресурс] : сборник описаний лабораторных работ для студентов специальности 280201 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», направлений бакалавриата 280200 «Защита окружающей среды» и 280700 «Техносферная безопасность» (профиль: Инженерная защита окружающей среды) всех форм обучения : самот. учеб. електрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост. Е. Г. Казакова, Т. Л. Леканова. – Изд. 2-е, перераб. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.
5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Башта Т.М. и др. – М.: Машиновстроение, 1982. – 423 с.